

10/561917

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2004 年12 月29 日 (29.12.2004)

PCT

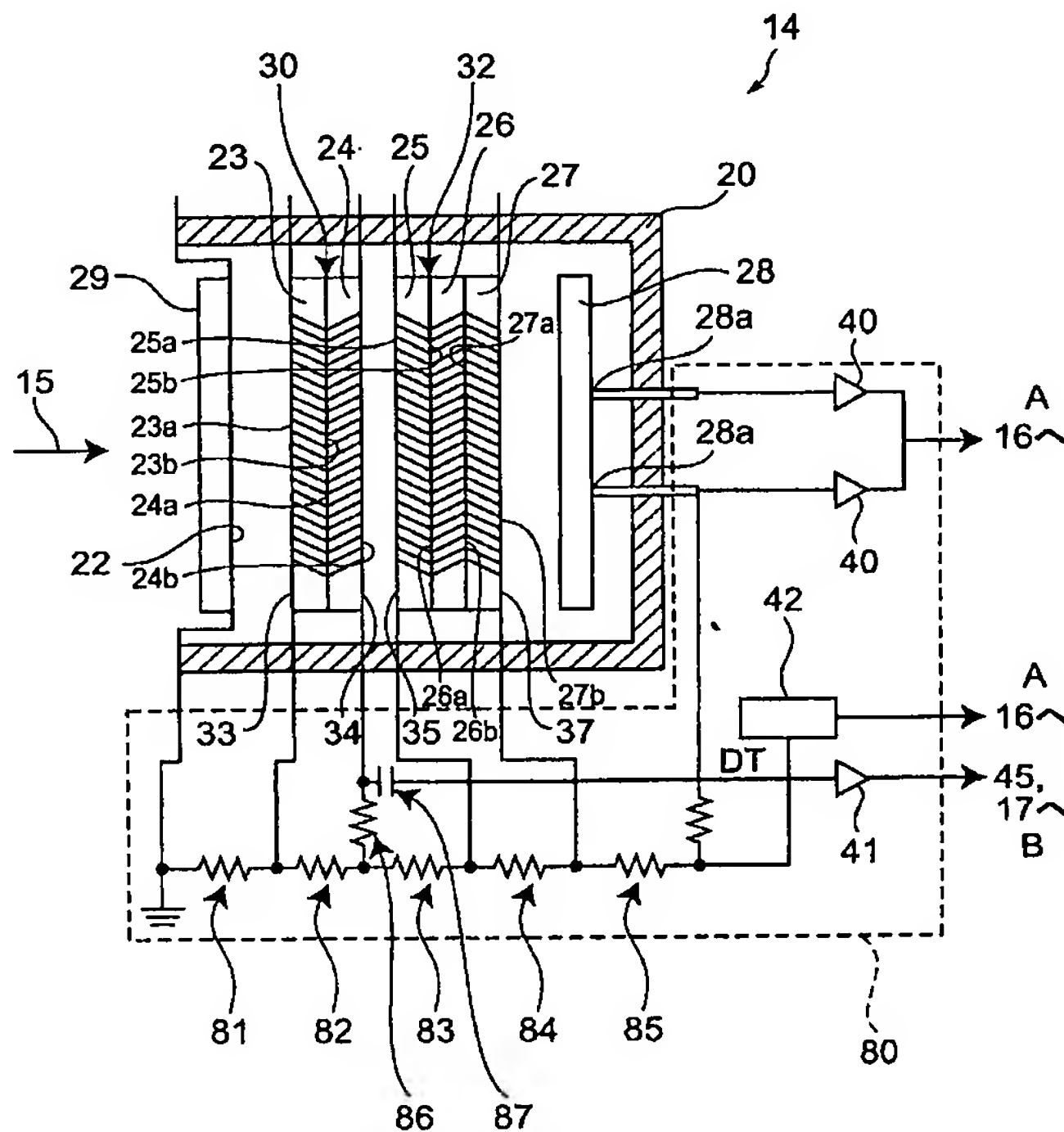
(10) 国際公開番号  
WO 2004/113890 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: G01N 21/66
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/009282
- (22) 国際出願日: 2004 年6 月24 日 (24.06.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2003-181546 2003 年6 月25 日 (25.06.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 浜松ホトニクス株式会社 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市市野町1126番地の1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 平井 伸幸 (HIRAI, Nobuyuki) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市市野町1126番地の1浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).  
西沢 充哲 (NISHIZAWA, Mitsunori) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市市野町1126番地の1浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA, Yoshiki et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目10番6号銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,

[続葉有]

(54) Title: TIME RESOLUTION MEASUREMENT DEVICE AND POSITION DETECTION ELECTRON MULTIPLIER

(54) 発明の名称: 時間分解測定装置および位置検出型電子増倍管



A...TO 16  
B...TO 45,17

(57) Abstract: A time resolution measurement device (100) reads out a detection timing pulse from an MCP (24) of a front MCP stack (30) of a photoelectron multiplier (14). According to this pulse, a photon detection timing is determined. The pulse is composed mainly of a potential rise pulse attributed to photoelectron emission from the MCP (24) and having a positive polarity. When a photoelectron is incident on the front stack (30), a negative polarity pulse is generated, thereby deforming the waveform of the detection timing pulse. However, since fewer photoelectrons are incident on the front stack (30) than on a rear stack (32), fewer negative components are generated in the detection timing pulse. Therefore, the time accuracy of time-resolution measurement is improved.

(57) 要約: 時間分解測定装置 (100) は、光電子増倍管 (14) における前側MCPスタック (30) のMCP (24) から検出タイミングパルスを読み出す。このパルスに基づいて光子の検出タイミングが決定される。このパルスの主成分は、MCP (24) からの光電子放出に応じた電位上昇パルスであり、これはプラスの極性を有する。一方で、前側スタック (30) に光電子が入射するとマイナスの極性のパルスが発生し、検出タイミングパルスの波形を変形する。しかし、前側スタック

(30) には、後側スタック (32) に比べて少数の光電子が入射するので、検出タイミングパルスに含まれるマイナス成分は少ない。この結果、時間分解測定の時間精度が高まる。

WO 2004/113890 A1



ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,

IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明細書

### 時間分解測定装置および位置検出型電子増倍管

#### 技術分野

【0001】 この発明は、位置検出型電子増倍管 (Position-Sensitive Electron Multiplier Tube: PS-EMT)、および位置検出型電子増倍管  
5 を利用する時間分解測定装置に関する。

#### 背景技術

【0002】 発光現象の時間分解測定を行って、その二次元位置および時間を  
取得するための二次元時間分解測定装置が知られている。このような装置は、特  
10 開昭61-266942号公報、特開平10-150086号公報、およびエス  
・シャーボンノー (S. Charbonneau) らによる論文「レジスティブアノード光  
電子増倍管を用いた100ps分解能での二次元時間分解撮像 (Two-dimensional time-resolved imaging with 100-ps resolution  
using a resistive anode photomultiplier tube)」(Rev. Sci. Instrum.  
15 63 (11)、米国、アメリカン・インスティテュート・オブ・フィジックス (American Institute of Physics)、1992年11月、5315-5319頁) に開示されている。シャーボンノーらの文献に開示される装置では、試料  
から発した光子が複数のマイクロチャンネルプレート (MCP) によって増倍さ  
れる。光子の検出タイミングを示すパルス信号は、光電子増倍管においてアノード  
20 ドに最も近いMCPから取り出される。

#### 発明の開示

【0003】 この発明は、時間分解測定における時間精度を高めることを目的とする。

【0004】 この発明の時間分解測定装置は、試料の励起によって発する量子  
25 線の位置情報およびタイミング情報を取得する。この装置は、試料の励起に同期して基準時間パルスを生成する信号発生器と、光を検出し検出位置に応じた位置

信号および検出タイミングに同期した検出タイミングパルスを生成する検出装置と、位置信号を用いて検出位置を算出する位置演算器と、基準時間パルスと検出タイミングパルスとの時間差を計測する時間差測定器と、位置演算器によって算出された検出位置と時間差測定器によって計測された時間差とを対応付けて記憶するデータ処理装置とを備えている。検出装置は、位置検出型電子増倍管を有している。電子増倍管は、量子線が入射する入射窓、アノード、ならびに入射窓とアノードの間に挟まれた第1および第2のマイクロチャンネルプレートとを有している。第1マイクロチャンネルプレートは、カソードと離れて対向する入力面と、第2マイクロチャンネルプレートと離れて対向する出力面とを有している。第2マイクロチャンネルプレートは、第1マイクロチャンネルプレートの出力面と離れて対向する入力面と、アノードと離れて対向する出力面とを有している。検出タイミングパルスは、マイクロチャンネルプレートによって増倍された電子が第1マイクロチャンネルプレートの出力面から放出されるときに電位変化にตอบสนองして発生し、時間差測定器へ送られる。

【0005】 量子線には、電子、イオン、 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線などの荷電粒子や、紫外線、X線、 $\gamma$ 線などの光子、さらには中性子などが含まれる。試料の励起に伴う量子線の発生は、原子、分子などがエネルギーの低い状態から、熱、光、放射線などの外部刺激によって、より高いエネルギーの状態に移り、その状態が元に戻る際に、2つの状態のエネルギーの差を光等の量子線として放出する現象である

(上記特許文献1および非特許文献1を参照のこと)。半導体デバイスが自発的に、あるいは外部トリガ(信号パルス、動作開始パルス等)にตอบสนองして作動すると、デバイス中のトランジスタのスイッチング動作に伴ってトランジェント発光が起きることも知られている(上記特許文献2を参照のこと)。本発明において試料の励起に伴う量子線の発生には、原子または分子が2つの状態のエネルギーの差を光等の量子線として放出する現象に加えて、半導体デバイスの動作時に観察されるトランジェント発光も含まれる。

【0006】 マイクロチャンネルプレートから取り出される検出タイミングパルスには、マイクロチャンネルプレートからの増倍電子の放出に起因するプラス極性の成分のほかに、マイクロチャンネルプレートへの量子線の入射に起因するマイナス極性の成分が含まれる。本発明と異なり第2マイクロチャンネルプレートから検出タイミングパルスを取り出す場合、そのプラス成分は第1および第2マイクロチャンネルプレートによって増倍された電子の量に応じた大きさを有し、そのマイナス成分は第1マイクロチャンネルプレートによって増倍された電子の量に応じた大きさを有する。第1および第2マイクロチャンネルプレートは互いに相関のない増倍揺らぎを有している。このため、検出タイミングパルスのプラス成分とマイナス成分は検出のたびに異なる比率を有することになる。したがって、検出タイミングパルスがグランドレベルを横切るタイミング、すなわちゼロクロスタイミングも検出のたびに異なる。この結果、基準時間パルスと検出タイミングパルスとの時間差に揺らぎが生じ、時間分解測定的时间精度が低下してしまう。

【0007】 これに対し、本発明では、第2マイクロチャンネルプレートの前方に配置された第1マイクロチャンネルプレートから検出タイミングパルスが取り出される。この検出タイミングパルスのマイナス成分は、第1マイクロチャンネルプレートへの量子線の入射に応答して発生する。このため、マイナス成分の大きさは、第1および第2マイクロチャンネルプレートによる電子増倍の影響を受けない。したがって、検出タイミングパルス中のマイナス成分は小さい。この結果、検出タイミングパルスのゼロクロスタイミングの変動が抑えられ、時間分解測定的时间精度が高まる。

【0008】 本発明の時間分解測定装置は、第1マイクロチャンネルプレート、および第1マイクロチャンネルプレートの入力面に重ね合わされた一枚以上のマイクロチャンネルプレートを有する第1のスタックと、第2マルチチャネルプレート、および第2マイクロチャンネルプレートの入力面に重ね合わされ、第1



マイクロチャンネルプレートと離れて対向する一枚以上のマイクロチャンネルプレート  
を有する第2のスタックとをさらに備えていてもよい。検出タイミングパ  
ルスのプラス成分は、第1スタック中の複数のマイクロチャンネルプレートによ  
って増倍された電子によって形成される。一方、マイナス成分は、第1スタック  
5 への量子線の入射によって生成され、第1スタック中のマイクロチャンネルプレ  
ートによる電子増倍の影響を受けない。このため、マイナス成分はプラス成分よ  
りも極めて小さくなる。したがって、検出タイミングパルスのゼロクロスタイミ  
ングの変動がさらに抑えられ、時間分解測定的时间精度が高まる。

【0009】 第1スタックは、入射窓と第1スタックとの間に別のマイクロチ  
10 ャンネルプレートを挟むことなく入射窓と対向していることが好ましい。この場  
合、検出タイミングパルスのマイナス成分は、第1スタック中のマイクロチ  
ャンネルプレートによる電子増倍だけでなく、別のマイクロチャンネルプレートによ  
る電子増倍の影響も受けない。このため、検出タイミングパルスのマイナス成分  
は極めて小さくなる。これにより、時間分解測定的时间精度が高まる。

【0010】 第1スタックは第2スタックより高い光電子増倍率を有していても  
15 よい。これは電子増倍の飽和を防ぐうえで有利である。これにより、光電子が  
効率良く増倍され、 $S/N$ の高い位置信号を得ることができる。検出タイミング  
パルスのマイナス成分の大きさは第1スタックによる電子増倍に影響されないの  
で、第1スタックの増倍率にかかわらずマイナス成分は小さい。したがって、高  
20 い位置検出精度と高い時間精度の双方を達成することができる。

【0011】 位置検出型電子増倍管は、量子線を光電効果によって光電子に変  
換するフォトカソードを、入射窓と第1マイクロチャンネルプレートの入力面と  
の間にさらに備えていてもよい。第1マイクロチャンネルプレートは、フォトカ  
ソードに対向させて配置され、フォトカソードから光電子を受け取って二次電子  
25 を生成し増倍する。この場合、光電子が第1マイクロチャンネルプレートに入射  
する。検出タイミングパルスのマイナス成分は、光電子の入射量に応じた大きさ

を有する。一方、検出タイミングパルスのプラス成分は、第1マイクロチャンネルプレートによって増倍された二次電子の量に応じた大きさを有する。このため、マイナス成分はプラス成分よりも極めて小さくなる。したがって、検出タイミングパルスのゼロクロスタイミングの変動が抑えられ、時間分解測定的时间精度が高まる。

【0012】 この発明の位置検出型電子増倍管は、量子線を透過させる入射窓と、量子線の入射窓への入射位置に応じた位置に電子を生成し、その位置を維持しながら電子を増倍する第1および第2のマイクロチャンネルプレートと、第2マイクロチャンネルプレートと対向するアノードと、第1マイクロチャンネルプレートに接続され、第1マイクロチャンネルプレートによって増倍された電子が第1マイクロチャンネルプレートから放出されるときに電位変化に応じたパルス信号を第1マイクロチャンネルプレートから取得するパルス読み出し回路とを備えている。第1マイクロチャンネルプレートは、入射窓と離れて対向する入力面と、第2マイクロチャンネルプレートと離れて対向する出力面を有している。第2マイクロチャンネルプレートは、第1マイクロチャンネルプレートの出力面と離れて対向する入力面と、アノードと離れて対向する出力面とを有している。パルス読み出し回路は、第1マイクロチャンネルプレートの出力面に接続されている。

【0013】 パルス読み出し回路は、第2マイクロチャンネルプレートではなく、第1マイクロチャンネルプレートに接続されている。パルス読み出し回路によって取得されるパルス信号のマイナス成分は、第1マイクロチャンネルプレートへの量子線の入射に応答して発生する。このため、マイナス成分の大きさは、第1および第2マイクロチャンネルプレートによる電子増倍の影響を受けない。この結果、パルス信号中のマイナス成分は小さく、これにより検出タイミングパルスのゼロクロスタイミングの変動が抑えられる。したがって、このパルス信号を、量子線の検出タイミングを示す信号として使用すれば、時間精度の高い時間

分解測定が可能である。

【0014】 本発明の前記および他の目的と新規な特徴は、以下の説明を添付図面と合わせて読むことにより、より完全に明らかになる。ただし、図面は単なる例示に過ぎず、本発明の技術的範囲を限定するものではない

5 図面の簡単な説明

【0015】 図1は、第1実施形態に係る時間分解測定装置の構成を示すブロック図である。

【0016】 図2は、第1実施形態に係る光電子増倍管の構造を示す概略図である。

10 【0017】 図3は、比較例の光電子増倍管の構造を示す概略図である。

【0018】 図4Aは、第2スタックの最後方MCPの電極における電位の経時変化を示し、図4Bは、その電極から取り出される検出タイミングパルスを示している。

15 【0019】 図5は、複数の検出で得られた検出タイミングパルスの重ね合わせを示している。

【0020】 図6Aは、第1スタックの最後方MCPの電極における電位の経時変化を示し、図6Bは、複数の検出で得られた検出タイミングパルスの重ね合わせを示している。

20 【0021】 図7は、第2実施形態に係る光電子増倍管の構造を示す概略図である。

【0022】 図8は、第3実施形態に係る光電子増倍管の構造を示す概略図である。

発明を実施するための最良の形態

25 【0023】 以下では、添付図面を参照しながら、本発明の好適な実施形態を詳細に説明する。理解の容易のため、図面に共通の同一または等価な要素には同様の参照番号を使用し、重複する説明を省略する。



**【0024】 第1実施形態**

図1は、実施形態に係る時間分解測定装置100の構成を示すブロック図である。装置100は、試料10から発する光子15を検出し、発光の二次元位置およびタイミングを測定する。装置100は、半導体テスト12、位置検出型光電子増倍管（Position Sensitive Photomultiplier Tube：PS-PMT）14、位置演算器16、時間電圧変換器（Time-to-Amplitude Converter：TAC）17およびデータ処理装置18を有している。

【0025】 本実施形態では、試料10の一例として、半導体集積回路（IC）を搭載するチップを用意する。半導体テスト12は、試料10に動作開始パルスを与えて発光を生じさせるための励起装置である。テスト12は、試料10上のICに駆動電圧を印加してICを駆動する。ICに含まれるトランジスタは、そのスイッチング動作時に低い確率で発光する。したがって、装置100を用いて発光の二次元位置とタイミングを測定することにより、トランジスタの動作タイミングを解析することができる。テスト12は、試料10に与える動作開始パルスに同期して基準時間パルスRTを生成する信号発生器12aを含んでいる。このパルスRTは時間電圧変換器17へ送られる。

【0026】 図2は、位置検出型光電子増倍管14の構造を示す概略図である。光電子増倍管14は、試料10から発した光子15を電子に変換し、その電子をその二次元位置を維持しながら増幅する。光電子増倍管14は、外囲器20および外囲器20に接続された電圧分割回路80を備えている。外囲器20内には、フォトカソード22、マイクロチャンネルプレート（Micro Channel Plate：MCP）23～27およびレジスティブアノード28が収容されている。外囲器20の前面には、透明の入射窓29が設置されている。フォトカソード22は入射窓29の内面上に形成されている。フォトカソード22とレジスティブアノード28は互いに離れて対向するように配置されている。MCP23～27は、フォトカソード22とレジスティブアノード28の間に配置されている。

【0027】 フォトカソード22は、入射窓29を透過した光子15を受け取り、光電効果によって光電子に変換する。フォトカソード22は「光電面」と呼ばれることがある。

5 【0028】 MCP23～27は、フォトカソード22から光電子を受け取って二次電子を生成および増倍する板状の電子増倍器である。MCPの平面形状は円形であってもよいし、矩形であってもよい。各MCPの前面および後面には、電極として導電性材料が蒸着されている。各MCPの前面23a～27aは光電子または二次電子を受け取る入力面であり、後面23b～27bは二次電子を放出する出力面である。光電子は、まず、最前方のMCP23に入射する。光電子  
10 の入射位置は、光15のフォトカソード22への入射位置に対応している。MCP23は、光電子の入射位置に二次電子を生成し、その二次電子をその二次元位置を維持しながら増倍する。後続のMCP24～27も二次元位置を維持しながら二次電子を増倍する。

15 【0029】 MCP23～27は、二次電子を通すための多数のチャンネルを有しており、二次電子はチャンネル内を移動する間に増倍される。より具体的には、MCPは、非常に細いガラスパイプを多数束ねた構造を有している。このガラスパイプがチャンネルである。それぞれのチャンネルは独立した電子増倍器として機能する。チャンネルの内壁は、電気抵抗体であり、電子放出体でもある。MCPが感応する量子（例えば、本実施形態における光電子）が一つのチャンネル  
20 の内壁に入射すると、その内壁から一つ以上の電子が放出される。

【0030】 MCPの入力面への量子の入射に応じてチャンネルの内壁から放出される電子は、MCPの両端に印加された電圧により生成された電界により加速され、放物線軌道を描きつつ壁の反対側の部分に衝突する。この衝突によって、二次電子が内壁から放出される。このような電子放出がチャンネルに沿って多  
25 数回繰り返される結果、電子が増倍され、MCPの出力面から多数の電子が放出される。電子の二次元位置は、チャンネルによって維持される。

【0031】 MCP 23～27は、第1および第2のMCPスタック30および32を構成している。第1スタック30は、互いに重ね合わされた2枚のMCP 23および24からなる2段スタックである。第1スタック30は、フォトカソード22との間に他のMCPを挟むことなくフォトカソード22と直接対向している。MCP 23および24は、それぞれフォトカソード22と離れて対向する入力面23aおよび24aを有している。MCP 23の出力面23bは、MCP 24の入力面24aに重ね合わされている。MCP 24の出力面24bは、MCP 25の入力面25aと離れて対向する。第2スタック32は、互いに重ね合わされた3枚のMCP 25～27からなる3段スタックである。MCP 25の出力面25cはMCP 26の入力面26aに重ね合わされ、MCP 26の出力面26bはMCP 27の入力面27aに重ね合わされている。MCP 27の出力面27bは、レジスティブアノード28の入力面と離れて対向する。

【0032】 MCP 23～27を二つのスタック30および32に分けるのは、光電子の効率の良い増倍のためである。すべてのMCPを近接させて重ね合わせると、光電子が少数のチャンネルに集中するため、増倍作用が飽和しやすい。これに対し、MCP 23～27を二つのスタック30および32に分けると、前側のスタック30によって増倍された電子群は、スタック30から放出され、拡散しながら後側のスタック32に向かう。この拡散により、後側のスタック32では、より多数のチャンネルで光電子が増倍されることになる。このため、増倍作用の飽和を防ぎ、効率良く光電子を増倍できる。

【0033】 スタック30および32のように、MCPを多段に重ねて使用する場合、チャンネルの軸がMCPの垂直軸に対し適当なバイアス角を有するようにMCPを配置することが好ましい。このような配置を採用することによって、ゲインの増大と共に生じるイオンフィードバックに起因するノイズを低減し、かつ、高いゲインを得ることができる。

【0034】 第1スタック30で光電子を非常に高い倍率で増倍できるので、

第2スタック32の増倍率は、第1スタック30の増倍率よりも低くてよい。本実施形態では、第1スタック30の増倍率は約 $10^6$ であり、第2スタック32の増倍率は約 $10^2$ である。これらの増倍率は完全に一定ではなく、ある程度の揺らぎを持っている。したがって、スタック30および32は、増倍のたびに異なる増倍率を示す。

【0035】 レジスティブアノード28は位置検出型アノードの一種である。レジスティブアノード28は、片面に均一な抵抗層が設けられた導体板である。レジスティブアノード28の周縁部の四箇所には、信号読み出し用の電極28aが設けられている。これらの電極28aは、図1に示されるように、プリアンプ40を介して位置演算器16に電氣的に接続されている。なお、図面の簡単のため、図面には、四つの電極28aのうち二つのみが描かれている。また、図面では、電極28aの位置が、実際の位置よりもレジスティブアノード28の中心寄りに描かれている。レジスティブアノード28に二次電子が入射すると、これらの読み出し電極28aは電荷パルスを出力する。レジスティブアノード28に入射した二次電子の二次元位置は、これらの電荷パルスが有する電荷量に応じて求めることができる。このようにレジスティブアノード28の各電極28aは、光子15の検出位置に応じた信号DPを生成し、位置演算器16に送る。

【0036】 フォトカソード22、第1および第2MCPスタック30および32、ならびにレジスティブアノード28は、電圧分割回路80に接続されている。回路80は、カソード22およびアノード28間に電圧を印可するとともに、その電圧を分割して第1および第2MCPスタック30および32に印可する。また、回路80は、レジスティブアノード28から光子15の検出位置に応じた信号DPを受け取り、増幅して位置演算器16に送る。さらに、回路80は、光子15の検出タイミングを示すパルス信号を取得するパルス読み出し回路としても機能する。

【0037】 図2に示されるように、第1スタック30においてMCP23の

入力面 2 3 a の周縁部および MCP 2 4 の出力面 2 4 b の周縁部には、それぞれ円環状の電極 3 3 および 3 4 が取り付けられ、これらの電極がリード線によって高圧電源 4 2 に接続されている。同様に、第 2 スタック 3 2 において MCP 2 5 の入力面 2 5 a の周縁部および MCP 2 7 の出力面 2 7 b の周縁部には、それぞれ円環状の電極 3 5 および 3 7 が取り付けられ、これらの電極がリード線によって高圧電源 4 2 に接続されている。高圧電源 4 2 は、フォトカソード 2 2 およびレジスティブアノード 2 8 にも接続されている。

【0038】 高圧電源 4 2 は、フォトカソード 2 2、第 1 スタック 3 0、第 2 スタック 3 2 およびレジスティブアノード 2 8 に電圧を印可し、これらの間に電位勾配を形成する。この電位勾配により、レジスティブアノード 2 8、第 2 スタック 3 2、第 1 スタック 3 0、およびフォトカソード 2 2 の順に高い電位が与えられる。各 MCP スタック内にも電位勾配が形成される。第 1 スタック 3 0 では、MCP 2 4 の出力面 2 4 b に近い位置ほど高い電位が与えられる。第 2 スタック 3 2 では、MCP 2 7 の出力面 2 7 b に近い位置ほど高い電位が与えられる。

【0039】 より具体的に説明すると、フォトカソード 2 2 と高圧電源 4 2 との間には抵抗器 8 1 ～ 8 5 が直列に接続されている。抵抗器 8 1 の両端にはフォトカソード 2 2 および電極 3 3 が接続されており、これにより両者の間に電位勾配が形成される。抵抗器 8 2 の両端には電極 3 3 および 3 4 が接続されており、これにより第 1 MCP スタック 3 0 の入力面 2 3 a および出力面 2 4 b 間に電位勾配が形成される。抵抗器 8 3 の両端には電極 3 4 および 3 5 が接続されており、これにより第 1 MCP スタック 3 0 と第 2 MCP スタック 3 2 との間に電位勾配が形成される。抵抗器 8 4 の両端には電極 3 5 および 3 7 が接続されており、これにより第 2 MCP スタック 3 2 の入力面 2 5 a および出力面 2 7 b 間に電位勾配が形成される。抵抗器 8 5 の両端には電極 3 7 およびレジスティブアノード 2 8 が接続されており、これにより第 2 MCP スタック 3 2 とレジスティブアノード 2 8 との間に電位勾配が形成される。



【0040】 後で詳細に説明するように、MCP 24の出力面24bでは、光子の検出タイミングに同期してパルス信号DTが生成される。以下では、このパルス信号DTを「検出タイミングパルス」と呼ぶ。図2に示されるように、MCP 24の出力面24bに設けられた電極34は、電圧分割回路80を介して時間電圧変換器17に接続されている。検出タイミングパルスDTは電極34および回路80を通じて時間電圧変換器17に送られる。

【0041】 回路80は、検出タイミングパルスDTを取得するために、互いに直列に接続された抵抗器86および高圧遮断用コンデンサ87を有している。電極34は抵抗器86とコンデンサ87の間に接続されている。コンデンサ87は、後述するプリアンプ41、アンプ43および44、CFD 45ならびにTAC 17を高圧電源42から分離し、高圧電源42によって生成される高い電圧からCFD 45およびTAC 17を保護する。

【0042】 位置演算器16は、光電子増倍管14のレジスティブアノード28に電氣的に接続されている。位置演算器16は、レジスティブアノード28から送られる位置信号DPを用いて光子15の検出位置を算出する。位置演算器16の出力端子はラッチ回路49に接続されている。算出された検出位置はデジタルデータとしてラッチ回路に送られる。

【0043】 時間電圧変換器(TAC) 17は、二つの入力信号の時間差を計測する時間差測定器である。TAC 17は、テスト12中の信号発生器12aおよび光電子増倍管14の双方に電氣的に接続されている。TAC 17のスタート端子は、プリアンプ41、アンプ43および44、ならびにコンスタントフラクション弁別器(CFD) 45を介してMCP 24上の電極34に接続されている。TAC 17は、光電子増倍管14からの検出タイミングパルスDTをスタート端子にて受け取る。一方、TAC 17のストップ端子は、アンプ46および遅延回路47を介してテスト12に接続されている。TAC 17は、テスト12中の信号発生器12aからの基準時間パルスRTをストップ端子にて受け取る。TA

C 1 7 は、基準時間パルス R T と検出タイミングパルス D T との時間差に応じた波高を有するアナログ電圧信号を生成する。この時間差は、基準時間パルスを基準とした光子 1 5 の検出時刻を示す。T A C 1 7 の出力端子は、A / D 変換器 4 8 を介してラッチ回路 4 9 に接続されている。検出時刻を示すアナログ信号は、  
5 A / D 変換器 4 8 に送られ、そこでデジタルデータに変換される。検出時刻を示すこのデータは、ラッチ回路 4 9 に送られる。

【 0 0 4 4 】 ラッチ回路 4 9 は、位置演算器 1 6 からの検出位置データおよび T A C 1 7 からの検出時刻データを受け取り、一組のデータとしてデータ処理装置 1 8 に転送する。データ処理装置 1 8 は、ラッチ回路 4 9 からデータを受け取り、記憶する。処理装置 1 8 は、例えばパーソナルコンピュータである。処理装置 1 8 は、C P U、記憶装置、ハードディスク、キーボードおよびマウス、なら  
10 びにディスプレイを有している。記憶装置には、データ処理に必要なプログラムおよびデータが格納されている。ラッチ回路 4 9 から送られた検出位置および検出時刻は、互いに対応付けてこの記憶装置に格納される。

【 0 0 4 5 】 本実施形態では、データ処理装置 1 8 は、時間分解測定装置 1 0 0 の制御装置としても機能する。位置演算器 1 6 は、レジスティブアノード 2 8 からの位置信号 D P を、プリアンプ 4 0 を経由して受け取り、光子 1 5 の検出位置を演算し、それをデジタル変換してラッチ回路 4 9 へ送る。また、装置 1 8 は、位置演算器 1 6 に高圧制御信号を送る。位置演算器 1 6 は高圧電源 4 2 に接続  
15 されており、高圧制御信号に応答して高圧電源 4 2 に出力電圧を生成させ、または、その生成を停止させる。装置 1 8 は、T A C 1 7 に時定数制御信号を送る。T A C 1 7 は、この信号に応答して時間一振幅変換の時定数を設定する。装置 1 8 は、遅延回路 4 7 にディレイ制御信号を送る。遅延回路 4 7 は、この信号に応答してディレイを設定する。  
20

【 0 0 4 6 】 以下では、時間分解測定装置 1 0 0 の動作を説明する。テスト 1 2 が試料 1 0 上の I C を駆動すると、ある確率で光子 1 5 が発する。光電子増倍  
25

管 1 4 は光子 1 5 をフォトカソード 2 2 にて受け取る。フォトカソード 2 2 は、  
光電効果によって光子 1 5 を光電子に変換する。この光電子は、フォトカソード  
2 2 および第 1 スタック 3 0 間の電位勾配によって MCP 2 3 の入力面 2 3 a に  
入射する。スタック 3 0 中の MCP 2 3 および 2 4 は、光電子を約  $10^6$  倍に増倍  
5 する。増倍された電子はスタック 3 0 内の電位勾配によって MCP 2 4 の出力面  
2 4 b に到達する。その後、電子は、第 1 および第 2 スタック 3 0 および 3 2 間  
の電位勾配によって MCP 2 4 の出力面 2 4 b から放出され、MCP 2 5 の入力  
面 2 5 a に入射する。スタック 3 2 中の MCP 2 5 ~ 2 7 は、電子を約  $10^2$  倍に  
増倍する。電子はスタック 3 2 内の電位勾配によって MCP 2 7 の出力面 2 7 b  
10 に到達する。その後、電子は、第 2 スタック 3 2 およびレジスティブアノード 2  
8 間の電位勾配によって MCP 2 7 の出力面 2 7 b から放出され、レジスティブ  
アノード 2 8 に収集される。

【0047】 レジスティブアノード 2 8 は、電子の二次元位置に応じた電荷パ  
ルス DP を四つの電極 2 8 a から位置演算器 1 6 へ送る。位置演算器 1 6 は、こ  
15 れらの電荷パルス DP を受け取り、重心検出によって電子の二次元位置を算出  
する。この二次元位置は、光子 1 5 の検出位置であり、試料 1 0 上での発光位置と  
対応している。算出された検出位置はデータ処理装置 1 8 に送られる。

【0048】 さらに、光電子増倍管 1 4 は、光子 1 5 の検出タイミングに同期  
してパルスを生成する。この検出タイミングパルス DT は電圧分割回路 8 0 によ  
20 って MCP 2 4 から取り出される。MCP 2 4 の出力面 2 4 b から MCP 2 5 に  
向けて電子が放出されると、MCP 2 4 の出力面 2 4 b において電位が瞬間的に  
上昇する。続いて、高圧電源 4 2 から MCP 2 4 に電子が流入し、出力面 2 4 b  
の電位は所定の定常電位に戻される。この電子の流れはチャージ電流と呼ばれる  
。チャージ電流は、高圧電源 4 2 から抵抗器 8 3 ~ 8 5 を通って MCP 2 4 の電  
25 極 3 4 に向かう。電極 3 4 と抵抗器 8 3 との間には、抵抗器 8 6 が配置されてい  
る。これにより、インピーダンスが増加するので、高圧電源 4 2 から電極 3 4 へ

の単位時間あたりの電子流入量が低減される。高周波領域では、コンデンサ 8 7 を含む経路のほうが抵抗器 8 3 ~ 8 6 を含む経路よりもインピーダンスが低い。このため、瞬間的には、コンデンサ 8 7 の一端から電極 3 4 に電子が流入することになる。コンデンサ 8 7 の他端はアンプを介して C F D 4 5 に接続されているので、電極 3 4 への電子の流れは電流パルスとして C F D 4 5 へ流入する。この電流パルスが検出タイミングパルス D T である。このようにして、回路 8 0 は、M C P 2 4 の出力面 2 4 b の瞬間的な電位上昇に同期して検出タイミングパルス D T を取り出すことができる。この検出タイミングパルス D T は C F D 4 5 を通じて T A C 1 7 へ送られる。

【0049】 T A C 1 7 は、試料 1 0 上の I C の駆動に同期した基準時間パルス R T をテスト 1 2 から受け取るとともに、C F D 4 5 から検出タイミングパルス D T を受け取る。T A C 1 7 は、基準時間パルス R T と検出タイミングパルス D T の時間差を計測する。上述のように、この時間差は基準時間パルス R T を基準とする光子 1 5 の検出時刻を示す。この検出時刻はデータ処理装置 1 8 に送られる。

【0050】 データ処理装置 1 8 は、検出位置および検出時刻を受け取り、互いに対応付けて記憶装置に格納する。試料 1 0 上のトランジスタがスイッチングの際に発光する確率は非常に小さいので、試料 1 0 は繰り返し励起され、検出位置および検出時刻がデータ処理装置 1 8 に蓄積される。蓄積されたデータはさまざまに利用することができる。たとえば、データ処理装置 1 8 は、特定の時間にわたって検出位置ごとに発光回数を計数し、得られたカウント数に応じた輝度を検出位置に対応する画素に割り当てた二次元画像を生成することができる。また、データ処理装置 1 8 は、蓄積された検出時刻を用いて、特定の検出位置における検出時刻のヒストグラムを作成することができる。このヒストグラムでは、横軸が検出時刻であり、縦軸が発光回数である。ヒストグラムのピークは、特定の検出位置において発光が高い頻度で検出された時刻を示している。したがって、

ピークに対応する検出時刻は、その検出位置に対応するトランジスタがスイッチングを行うタイミングとみなすことができる。トランジスタのスイッチングタイミングを取得することにより、試料 10 上の IC の動作解析が可能となる。

【0051】 本実施形態の特徴は、前側スタック 30 の最後方に位置する MCP 24 から検出タイミングパルス DT を読み出すことである。以下では、従来技術との比較を交えながらこの点を詳細に説明する。

【0052】 時間分解測定装置において光電子増倍管から検出タイミングパルスを取得する場合、どこから検出タイミングパルスを読み出すかを決める必要がある。アノードからタイミングパルスを読み出す場合、アノードが位置検出型であると、アノード周辺の信号読み出し経路に付随する抵抗や静電容量のため、タイミングパルスの読み出し速度が遅い。また、信号読み出し経路が高インピーダンス回路となるため、タイミングパルスが外来ノイズの影響を受けやすい。したがって、外部回路を最適化しても十分な時間精度を得ることが難しい。さらに、タイミングパルスを取得するための付加回路によって信号の S/N が低下する。このため、時間精度のみならず位置分解能までもが劣化してしまう。

【0053】 これに対し、従来技術では、アノードと直接対向する MCP の出力面から検出タイミングパルスを取得している。つまり、最も後方に配置された最終 MCP の出力面からアノードに向かって電子が放出されたときに発生する電位上昇パルスが検出タイミングパルスとして読み出される。電位上昇量は放出される電荷量に比例し、その電荷量は最終 MCP において最大となる。したがって、最終 MCP からは S/N の高い検出タイミングパルスを読み出すことができる。

【0054】 しかし、このような利点の反面、最終 MCP からの検出タイミングパルスの読み出しには不利益が伴うことに本発明者は気づいた。以下では、図 3 および図 4 を参照しながらこの不利益を説明する。図 3 は、最終 MCP 27 上の電極 37 から検出タイミングパルス DT が読み出される光電子増倍管 14 a の



構造を示す概略図である。電極 3 7 は、本実施形態における電極 3 4 と同様に、アンプおよびコンスタントフラクション弁別器を介して T A C 1 7 に接続されている。図 4 A は電極 3 7 における電位の経時変化を示し、図 4 B は電極 3 7 から取り出されるタイミングパルス D T を示している。

5      【0055】 MCP 2 3 ~ 2 7 によって増倍された電子が MCP 2 7 の出力面 2 7 b から放出されると、図 4 A に示されるように、電極 3 7 上に電位上昇パルス 6 0 が現れる。電位上昇パルス 6 0 は、光子が検出されるたびに発生する。試料から 3 個の光子が順次に発すると、図 4 A に示されるように、3 個の電位上昇パルス 6 0 a ~ 6 0 c が発生する。上述のように、第 1 および第 2 MCP スタック 3 0 および 3 2 の増倍率は、ある程度の揺らぎを持っている。このような増倍揺らぎに応じて、電位上昇パルス 6 0 a ~ 6 0 c はさまざまな波高を有する。

10      【0056】 本発明者は、電位上昇パルス 6 0 a ~ 6 0 c の直前に別のパルス 6 2 a ~ 6 2 c が電極 3 7 上に現れることを見いだした。このパルス 6 2 は、光電子増倍管 1 4 が互いに離間した二つの MCP スタック 3 0 および 3 2 を有することに起因する。第 1 スタック 3 0 によって増倍された電子は、MCP 2 4 の出力面から放出されて、第 2 スタック 3 2 の入力面、すなわち第 2 スタック 3 2 において最前方に位置する MCP 2 5 の入力面 2 5 a に入射する。このとき、第 2 スタック 3 2 の入力面 2 5 a 上の電極 3 5 および出力面 2 7 b 上の電極 3 7 間の容量結合が、電極 3 7 上にパルス 6 2 を生成する。以下では、このパルス 6 2 を  
15      「電子入力パルス」と呼ぶ。電子入力パルス 6 2 の波高は、第 1 スタック 3 0 の増倍率に依存する。第 1 スタック 3 0 の増倍揺らぎに応じて、電子入力パルス 6 2 a ~ 6 2 c はさまざまな波高を有する。

20      【0057】 電位上昇パルス 6 0 はプラスの極性を有し、電子入力パルス 6 2 はマイナスの極性を有する。第 1 スタック 3 0 から第 2 スタック 3 2 への電子の入射によって電子入力パルス 6 2 が生成され、第 2 スタック 3 2 による電子の増倍の後、電位上昇パルス 6 0 が発生する。このため、電位上昇パルス 6 0 は、電  
25

子入力パルス 62 から約 300 p s e c 遅れて電極 37 上に現れる。パルス 60 および 62 は部分的に重なり合い、図 4 B に示されるように一つのパルス 70 として電極 37 から読み出される。このパルス 70 が上述した検出タイミングパルス D T である。

5      【0058】 第2スタック 32 が  $10^2$  程度の増倍率を有することから、電位上昇パルス 60 は電子入力パルス 62 の 10 ~ 100 倍程度の波高を有する。しかし、電位上昇パルス 60 の波高は、スタック 30 および 32 の双方の増倍揺らぎから影響を受けるのに対し、電子入力パルス 62 の波高は、スタック 30 の増倍揺らぎからしか影響を受けない。このため、これらのパルス 60 および 62 の波  
10      高は、互いに相関のない揺らぎを有する。したがって、プラスの電位上昇パルス 60 とマイナスの電子入力パルス 62 とが、光子の検出のたびに異なる波高比率で合成され、検出タイミングパルスを形成することになる。

15      【0059】 C F D 45 は、パルス 70 がグランドレベルを横切るタイミング 71 を判定する。これは、ゼロクロスタイミングと呼ばれる。T A C 17 は、このゼロクロスタイミングをパルス 70 の受信タイミングとして扱う。パルス 70 は電子入力パルス 62 に対応するマイナス成分を有するため、ゼロクロスタイミング 71 は、第2スタック 32 に光電子が入射するタイミング 72 に比べて遅れる。電位上昇パルス 60 と電子入力パルス 62 とが光子の検出のたびに異なる波高比率を有するため、ゼロクロスタイミング 71 の電子入射タイミング 72 から  
20      の遅延時間は一定でない。これは、複数の光子検出における検出タイミングパルスを重ね合わせて示す図 5 を参照するといっそう明らかになる。このようなゼロクロスタイミング 71 の遅延の不均一のため、検出時刻に 200 p s e c 以上の揺らぎ（ジッタ）が生じ、時間精度が低下してしまう。

25      【0060】 これに対し、本実施形態の時間分解測定装置 100 では、第1スタック 30 の最後方の M C P 24 から検出タイミングパルスが読み出される。第1スタック 30 に入射するのは1個の光子から変換された光電子であり、まった

く増倍されていない。このため、MCP 24の電極34に発生する電子入力パルスは非常に小さい。図6Aに示されるように、MCP 24上の電極34には、事実上、電位上昇パルス64のみが現れる。したがって、複数の光子検出における検出タイミングパルスを重ね合わせて示す図6Bを参照すると明らかなように、  
5      ゼロクロスタイミングの揺らぎを抑えることができる。光電子は、第1スタック30によって $10^6$ 倍に増倍された後、MCP 24から放出される。これらの光電子の電荷量は、最終MCP 27から放出される電荷量の約 $1/100$ であるが、それでも十分な波高の電位上昇パルス64を生成することができる。したがって、検出タイミングパルスのS/Nおよび時間精度の低下が防止される。この結果、  
10      60 p s e c程度の良好な時間精度を得ることが可能である。

【0061】      なお、検出タイミングパルスを取得するために電極34に電氣的に接続される出力端子の数は1本に限定されず、複数本設置してもよい。その際、複数の出力端子は同じ長さを有することが好ましい。

#### 【0062】      第2実施形態

15      本実施形態の時間分解測定装置は、第1実施形態の装置100において光電子増倍管14の代わりに他の光電子増倍管90を設置した構成を有する。図7は、本実施形態で使用する位置検出型光電子増倍管90の構造を示す概略図である。光電子増倍管90は、第1実施形態の光電子増倍管14と異なる電圧分割回路92を有する。

20      【0063】      回路92は、MCP 24から検出タイミングパルスDTを取得するための構成が第1実施形態の電圧分割回路80と異なる。すなわち、回路92は、MCP 24の電極34に接続された抵抗器86およびコンデンサ87に加えて、高圧遮断用コンデンサ88および同軸ケーブル94を有している。同軸ケーブル94は、内部導体（芯線）94aと、その内部導体94aを同軸に包囲する筒状の外部導体94bを有する。内部導体94aの一端は、コンデンサ87を介して抵抗器86の一端に接続されており、内部導体94aの他端は、プリアンプ  
25

41、アンプ43および44を介して、CFD45およびTAC17に接続されている。外部導体94bは、コンデンサ88を介して抵抗器86の他端に接続され、接地されている。

【0064】 すでに述べたように、MCP24の出力面24bからMCP25  
5 に向けて電子が放出されると、MCP24の出力面24bにおいて電位が瞬間的に上昇する。これに応じて、高圧電源42からMCP24にチャージ電流が供給される。しかし、高圧電源42およびMCP24間の経路は、抵抗器86によってインピーダンスが高められている。このため、高周波領域では、コンデンサ87および88ならびに同軸ケーブル94を含む経路のほうが抵抗器86を含む経路よりもインピーダンスが低い。したがって、瞬間的には、同軸ケーブル94を  
10 含む経路から電極34に電子が流入することになる。同軸ケーブル94のうちコンデンサ87に接続される端部と反対側の端部には、CFD45が接続されている。このため、電極34への電子の流れは電流パルスとしてCFD45へ流入する。この電流パルスが検出タイミングパルスDTである。このようにして、回路  
15 92は、MCP24の出力面24bの瞬間的な電位上昇に同期して検出タイミングパルスDTを取り出すことができる。

【0065】 本実施形態は、第1実施形態と同じ利点を有する。さらに、検出  
タイミングパルスDTを同軸ケーブル94によって伝送するので、パルスDTの  
波形の劣化が少ない。したがって、時間分解測定的时间精度をさらに高めること  
20 ができる。

#### 【0066】 第3実施形態

本実施形態の時間分解測定装置も、第1実施形態の装置100において光電子  
増倍管14の代わりに他の光電子増倍管95を設置した構成を有する。図8は、  
本実施形態で使用する位置検出型光電子増倍管95の構造を示す概略図である。  
25 光電子増倍管95は、第1実施形態の光電子増倍管14と異なる電圧分割回路96を有する。

【0067】 回路96は、MCP24から検出タイミングパルスDTを取得するための構成が第1および第2実施形態の電圧分割回路80および92と異なる。すなわち、回路96は、電圧分割回路92における抵抗器86ならびにコンデンサ87および88に代えて、高周波トランス98を有している。トランス98は、MCP24の電極34と同軸ケーブル94との間に接続されている。トランス98は、CFD45およびTAC17を高圧電源42から分離し、高圧電源42によって生成される高い電圧からCFD45およびTAC17を保護する。電極34はトランスの一次側に接続され、同軸ケーブル94はトランスの二次側に接続されている。より具体的には、一次側コイル98aの一端が電極34に接続され、他端が抵抗器82および83の間に接続されている。また、二次側コイル98bの一端が同軸ケーブル94の内部導体94aに接続され、他端は外部導体94bとともに接地されている。

【0068】 MCP24の出力面24bからMCP25に向けて電子が放出されると、MCP24の出力面24bにおいて電位が瞬間的に上昇する。これに応じて、高圧電源42からMCP24にチャージ電流が瞬間的に供給される。チャージ電流の経路には高周波トランス98の一次側が接続されている。このため、チャージ電流のAC成分に対応する起電力がトランス98の二次側に発生する。この起電力によりパルス電流が発生し、トランス98の二次側に接続された同軸ケーブル94によって伝送される。この電流パルスが検出タイミングパルスDTである。同軸ケーブル94のうちトランス98に接続される端部と反対側の端部には、CFD45が接続されている。このため、検出タイミングパルスDTはCFD45へ流入する。このようにして、回路96は、MCP24の出力面24bの瞬間的な電位上昇に同期して検出タイミングパルスDTを取り出すことができる。

【0069】 本実施形態は、第1実施形態と同じ利点を有する。さらに、検出タイミングパルスDTを同軸ケーブル94によって伝送するので、パルスDTの



波形の劣化が少ない。したがって、時間分解測定的时间精度をさらに高めることができる。

【0070】 以上、本発明をその実施形態に基づいて詳細に説明した。しかし、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。本発明は、その要旨を逸脱  
5 しない範囲で様々な変形が可能である。

【0071】 本明細書では、「光電子増倍管 (PMT)」は「電子増倍管 (EMT)」の一態様である。上記実施形態は、位置検出型光電子増倍管 (PS-PMT) を使用する。しかし、本発明では、試料から発する量子線の種類に応じて他の任意の位置検出型電子増倍管 (PS-EMT) を使用することができる。マイクロ  
10 チャンネルプレートが電子線のみならず、紫外線 (UVおよびVUV)、X線、 $\alpha$ 線、荷電粒子、中性子など、他の量子線に対して直接、感度を有することはよく知られている。マイクロチャンネルプレートの各チャンネルにその量子線が入射すると、電子が放出され、それらの電子がチャンネル内で増倍される。PS-PMTを用いるかPS-EMTを用いるかは、検出対象物から発する量子線の種類  
15 に応じて適宜選択される。

【0072】 上記実施形態では、位置検出型のアノードとしてレジスティブアノード28が使用されている。このほかに、他の任意の位置検出型アノード、たとえばマルチアノード、CRチェーンアノード、クロスワイヤアノード、または半導体位置検出素子 (PSD) を使用してもよい。また、光電子を光学像に変換  
20 する蛍光板をアノードとして使用し、その光学像をイメージセンサを用いて撮像することにより光電子の位置を測定してもよい。また、蛍光板とイメージセンサとをファイバプレートを通してファイバカップリングしてもよい。これらの位置検出は、一次元であっても二次元であってもよい。

【0073】 上記実施形態では、半導体集積回路の動作解析を取り上げている  
25 。しかし、本発明に係る時間分解型検出を利用可能なアプリケーションは幅広く、Time Of Flight (TOF) 応用をはじめとした様々な計測手法、例えば、二

次イオン質量分析（SIMS）、イオン散乱分光（ISS）や、アトムプローブなどに本発明を適用することができる。

【0074】 第2および第3実施形態では、同軸ケーブル94を用いて検出タイミングパルスDTを伝送する。しかし、検出タイミングパルスDTの伝送距離が短い場合は、同軸ケーブル94に代えて、同軸ケーブル94の芯線および外部導体に相当する平行な2本の信号線を使用することができる。

#### 産業上の利用可能性

【0075】 この発明の時間分解測定装置は、アノードと直接対向する最後方のマイクロチャンネルプレートではなく、より前方に配置されたマイクロチャンネルプレートから検出タイミングパルスを読み出す。これにより、検出タイミングパルスに含まれるマイナス成分を低減して、時間分解測定の時間精度を高めることができる。

## 請求の範囲

1. 試料の励起によって発する量子線の位置情報およびタイミング情報を取得する時間分解測定装置であって、

前記試料の励起に同期して基準時間パルスを生成する信号発生器と、

5 前記量子線を検出し、検出位置に応じた位置信号および検出タイミングに同期した検出タイミングパルスを生成する検出装置と、

前記位置信号を用いて前記検出位置を算出する位置演算器と、

前記基準時間パルスと前記検出タイミングパルスとの時間差を計測する時間差測定器と、

10 前記位置演算器によって算出された前記検出位置と、前記時間差測定器によって計測された前記時間差とを対応付けて記憶するデータ処理装置と、  
を備え、

前記検出装置は、位置検出型電子増倍管を有しており、

15 前記電子増倍管は、前記量子線を透過させる入射窓、前記量子線の前記入射窓への入射位置に応じた位置に電子を生成し、その位置を維持しながら前記電子を増倍する第1および第2のマイクロチャンネルプレート、ならびにアノードを有しており、

20 前記第1マイクロチャンネルプレートは、前記入射窓と離れて対向する入力面と、前記第2マイクロチャンネルプレートと離れて対向する出力面とを有しており、

前記第2マイクロチャンネルプレートは、前記第1マイクロチャンネルプレートの出力面と離れて対向する入力面と、前記アノードと離れて対向する出力面とを有しており、

25 前記検出タイミングパルスは、前記第1マイクロチャンネルプレートによって増倍された電子が前記第1マイクロチャンネルプレートから放出されるときに電位変化に応答して発生し、前記時間差測定器へ送られる、

時間分解測定装置。

2. 前記第1マイクロチャンネルプレート、および前記第1マイクロチャンネルプレートの入力面に重ね合わされた一枚以上のマイクロチャンネルプレートを有する第1のスタックと、

5 前記第2マイクロチャンネルプレート、および前記第2マイクロチャンネルプレートの入力面に重ね合わされ、前記第1マイクロチャンネルプレートと離れて対向する一枚以上のマイクロチャンネルプレートを有する第2のスタックと、  
をさらに備える請求の範囲第1項に記載の時間分解測定装置。

10 3. 前記第1スタックは、前記入射窓と前記第1スタックとの間に別のマイクロチャンネルプレートを挟むことなく前記入射窓と対向している、請求の範囲第2項に記載の時間分解測定装置。

4. 前記第1スタックは前記第2スタックよりも高い電子増倍率を有している、請求の範囲第2項または第3項に記載の時間分解測定装置。

15 5. 前記位置検出型電子増倍管は、前記量子線を光電効果によって光電子に変換するフォトカソードを前記入射窓と前記第1マイクロチャンネルプレートの入力面との間にさらに備える位置検出型光電子増倍管であり、

前記第1マイクロチャンネルプレートは、前記フォトカソードに対向させて配置され、前記フォトカソードから前記光電子を受け取って二次電子を生成し増倍する、

20 請求の範囲第1項～第4項のいずれかに記載の時間分解測定装置。

6. 量子線を透過させる入射窓と、

前記量子線の前記入射窓への入射位置に応じた位置に電子を生成し、その位置を維持しながら前記電子を増倍する第1および第2のマイクロチャンネルプレートと

25 前記第2マイクロチャンネルプレートと対向するアノードと、

前記第1マイクロチャンネルプレートによって増倍された電子が前記第1マイ

クロチャンネルプレートから放出されるときに電位変化に応答してパルス信号を取得するパルス読み出し回路と、  
を備える位置検出型電子増倍管であって、

5 前記第1マイクロチャンネルプレートは、前記入射窓と離れて対向する入力面と、前記第2マイクロチャンネルプレートと離れて対向する出力面を有し、

第2マイクロチャンネルプレートは、前記第1マイクロチャンネルプレートの出力面と離れて対向する入力面と、前記アノードと離れて対向する出力面とを有し、

10 前記パルス読み出し回路は、前記第1マイクロチャンネルプレートの出力面に接続されている、  
位置検出型電子増倍管。

7. 前記第1マイクロチャンネルプレート、および前記第1マイクロチャンネルプレートの入力面に重ね合わされた一枚以上のマイクロチャンネルプレートを有する第1のスタックと、

15 前記第2マイクロチャンネルプレート、および前記第2マイクロチャンネルプレートの入力面に重ね合わされ、前記第1マイクロチャンネルプレートと離れて対向する一枚以上のマイクロチャンネルプレートを有する第2のスタックと、  
をさらに備える請求の範囲第6項に記載の位置検出型電子増倍管。

20 8. 前記第1スタックは、前記入射窓と前記第1スタックとの間に別のマイクロチャンネルプレートを挟むことなく前記入射窓と対向している、請求の範囲第7項に記載の位置検出型電子増倍管。

9. 前記第1スタックは前記第2スタックよりも高い電子増倍率を有している、請求の範囲第7項または第8項に記載の位置検出型電子増倍管。

25 10. 前記入射窓と前記第1マイクロチャンネルプレートとの間に配置され、前記量子線を光電効果によって光電子に変換するフォトカソードをさらに備える請求の範囲第6項～第9項のいずれかに記載の位置検出型電子増倍管であ



って、

前記第 1 マイクロチャンネルプレートは、前記フォトカソードに対向させて配置され、前記フォトカソードから前記光電子を受け取って二次電子を生成し増倍する、

- 5 請求の範囲第 6 項～第 9 項のいずれかに記載の位置検出型電子増倍管。

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/009282

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G01N21/66

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G01N21/62-21/74, H01J43/00-43/30, G01J1/02, G01T1/29

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JICST FILE (JOIS)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-304697 A (Laboratory of Molecular Biophotonics), 02 November, 2000 (02.11.00), Full text; Fig. 1 (Family: none)	1-10
A	JP 11-132953 A (Laboratory of Molecular Biophotonics), 21 May, 1999 (21.05.99), Full text; Fig. 1 & US 5990484 A & GB 2330904 A	1-10
A	JP 8-292090 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 05 November, 1996 (05.11.96), Full text; Figs. 4, 5 (Family: none)	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
16 September, 2004 (16.09.04)Date of mailing of the international search report  
05 October, 2004 (05.10.04)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl <sup>7</sup> G01N21/66		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl <sup>7</sup> G01N21/62-21/74, H01J43/00-43/30 G01J1/02, G01T1/29		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2004年 日本国登録実用新案公報 1994-2004年 日本国実用新案登録公報 1996-2004年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
JICSTファイル (JOIS)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2000-304697 A (株式会社分子バイオホトニクス研究所) 2000.11.02, 全文, 第1図, (ファミリーなし)	1-10
A	JP 11-132953 A (株式会社分子バイオホトニクス研究所) 1999.05.21 全文, 第1図 & US 5990484 A & GB 2330904 A	1-10
A	JP 8-292090 A (石川島播磨重工業株式会社) 1996.11.05 全文, 第4, 5図, (ファミリーなし)	1-10
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 16.09.2004	国際調査報告の発送日 05.10.2004	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 横井 亜矢子	2W 9706
電話番号 03-3581-1101 内線 3290		

図1

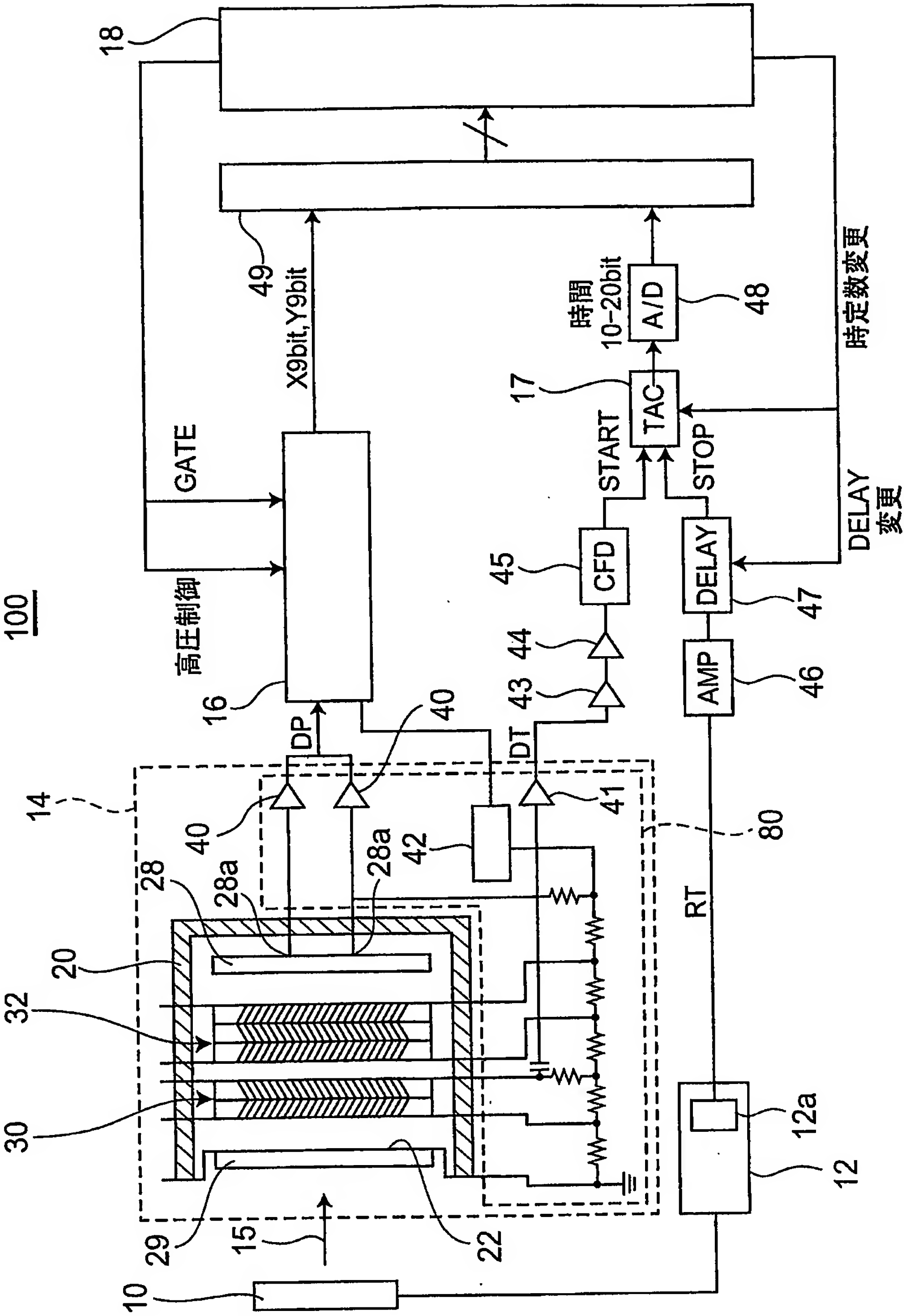
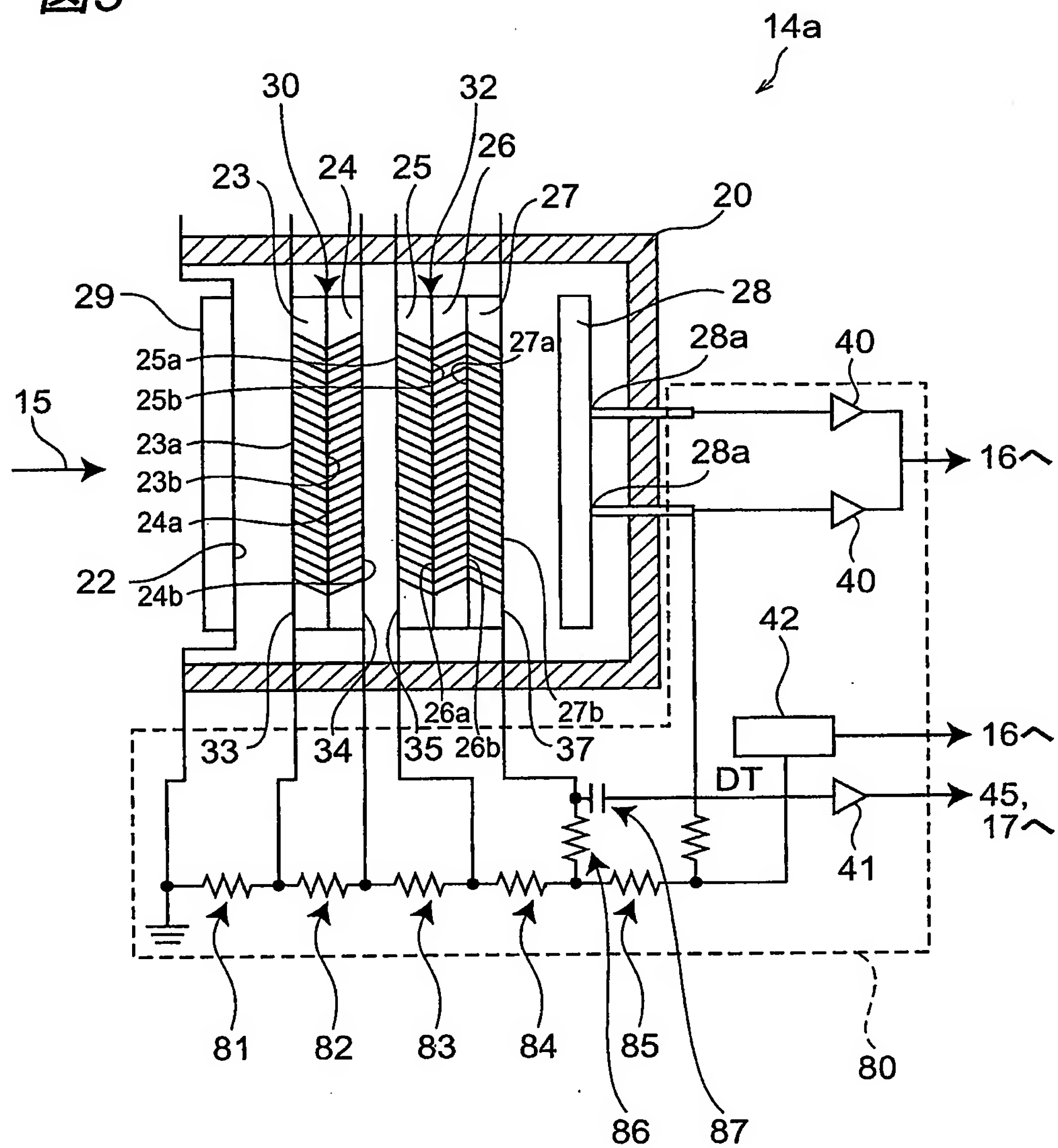






図3



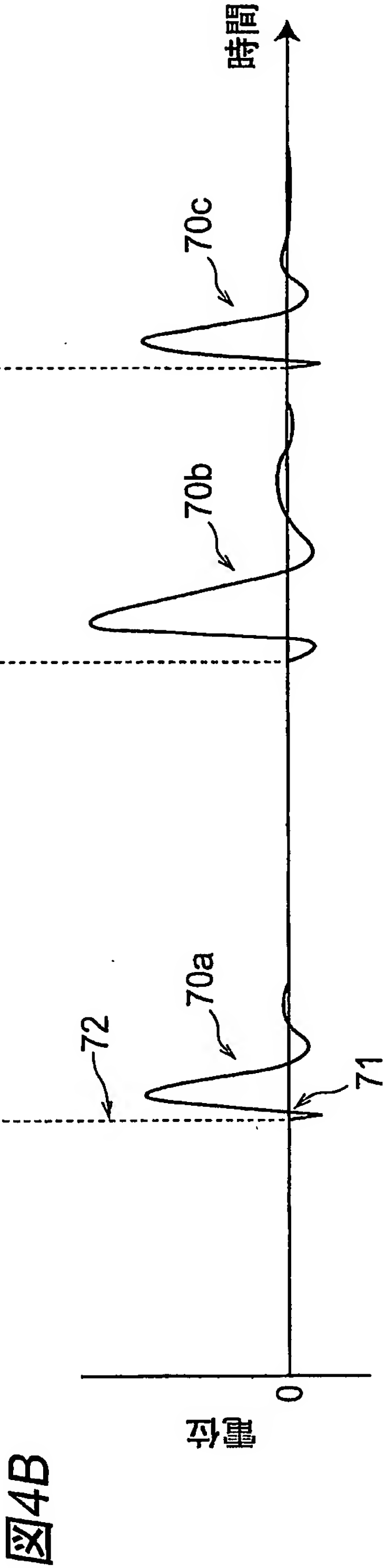
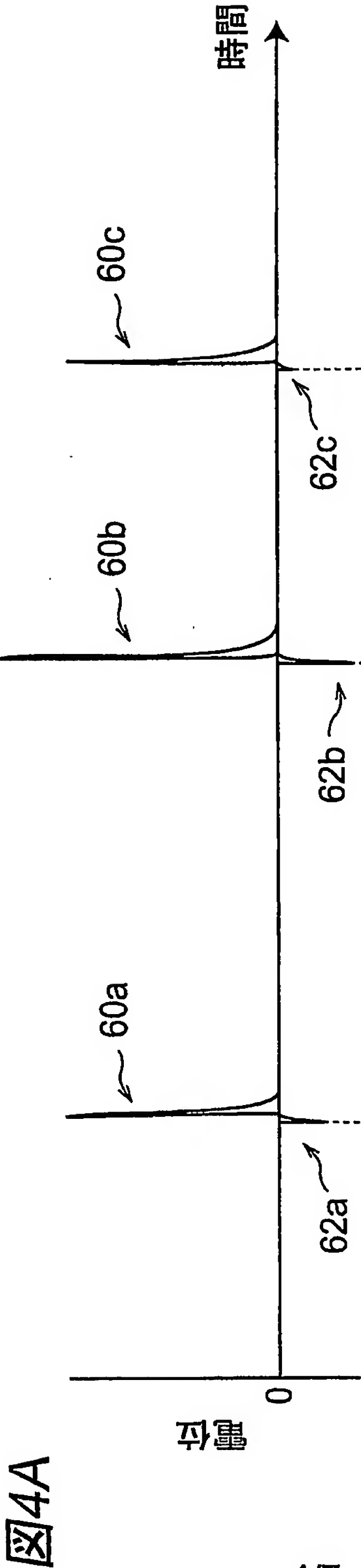


図5

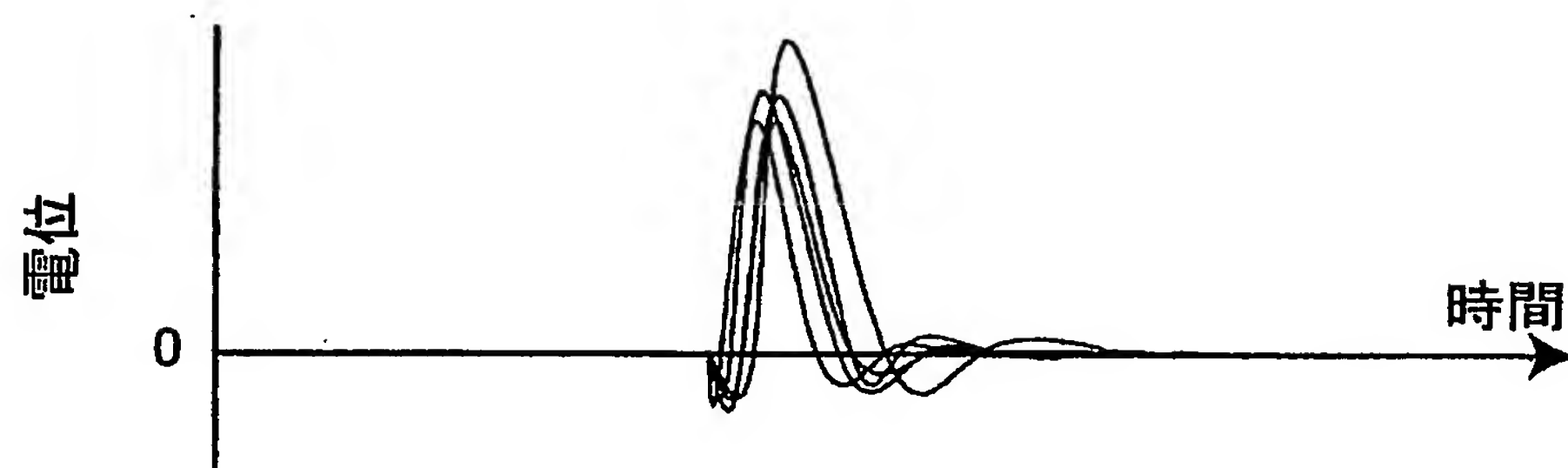


図6A

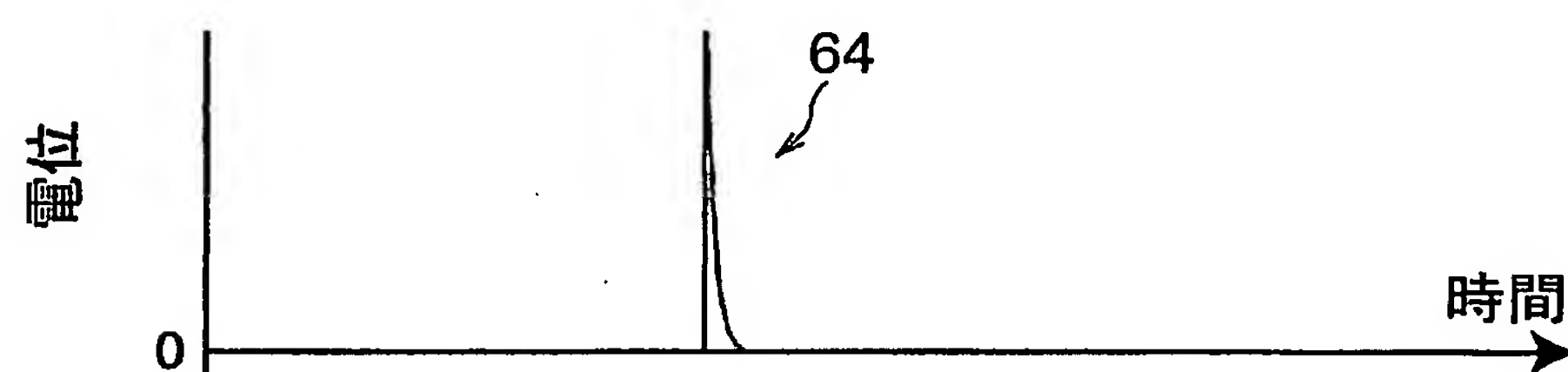


図6B

